



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“CONTROLES GEOTÉCNICOS PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE LAS PROGRESIVAS KM4 + 100 – KM6 + 500 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHAMIS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Geólogo

Autores:

Pedro Alexander Goicochea Briones

Brando Michael Erick Vidaurre Llallacachi

Asesor:

Ing. Daniel Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos.....	15
<i>Objetivo general</i>	15
<i>Objetivos específicos</i>	15
1.4. Hipótesis	15
<i>Hipótesis General</i>	15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	16
2.1. Tipo de investigación.....	16
<i>Tipo de investigación</i>	16
<i>Nivel de investigación</i>	16
<i>Diseño de investigación</i>	16
2.2. Población	16
2.3. Muestra	17
2.4. Materiales, instrumentos y métodos.....	17
2.5. Procedimiento	18
<i>Etapas de pre campo</i>	18
<i>Etapas de campo</i>	21
<i>Etapas de gabinete</i>	23
CAPÍTULO III. RESULTADOS... ..	25
3.1. Ubicación geográfica	25
3.2. Ubicación política	25
3.3. Accesibilidad	26
3.4. Clima.....	26
3.5. Precipitación	28
3.6. Flora y fauna	29
3.7. Geología Regional	31
3.8. Geología Local.....	33
3.9. Geomorfología	38
3.10. Estaciones de Control Geotécnico	41
3.10.1. Estación N° 1	42
<i>Resistencia de la roca intacta</i>	44
<i>Índice de la calidad de la roca, RQD</i>	44

<i>Espaciamiento de las discontinuidades</i>	46
<i>Condición de las discontinuidades (Jc)</i>	47
<i>Condición del Agua</i>	49
<i>Valoración del macizo rocoso RMR</i>	49
<i>Orientación de las Discontinuidades</i>	49
3.10.2. Estación N° 2	51
<i>Resistencia de la roca intacta</i>	53
<i>Índice de la calidad de la roca, RQD</i>	53
<i>Espaciamiento de las discontinuidades</i>	55
<i>Condición de las discontinuidades (Jc)</i>	56
<i>Condición del Agua</i>	57
<i>Valoración del macizo rocoso RMR</i>	58
<i>Orientación de las Discontinuidades</i>	58
3.10.3. Estación N° 3	59
<i>Resistencia a la roca intacta</i>	61
<i>Índice de la calidad de la roca, RQD</i>	61
<i>Espaciamiento de las discontinuidades</i>	63
<i>Condición de las discontinuidades (Jc)</i>	64
<i>Condición del Agua</i>	65
<i>Valoración del macizo rocoso RMR</i>	66
<i>Orientación de las Discontinuidades</i>	66
3.10.4. Estación N° 4	67
3.11. Análisis Mediante el Software Dips	68
3.11.1. Estación N° 1	69
3.11.2. Estación N° 2	73
3.11.3. Estación N° 3	77
3.12. Cálculo de Factor de seguridad	81
3.12.1 Estación N°1	82
3.12.2 Estación N°2	83
3.12.3 Estación N° 3	84
3.12.4. Estación N° 4	85
3.13. Sistema de estabilización propuesto.....	86
3.14. Cuadro resumen de las estaciones.....	87
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	88
4.1. Discusión.....	88
4.2. Conclusiones.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Identificación posibles zonas susceptibles, 2020.....	22
Figura 2. Toma de datos, 2020.....	22
Figura 3. Reconocimiento de materiales presentes en el lugar de estudio, 2020.....	23
Figura 4. Método de dovelas o rebanadas Olalla, C. 199.....	24
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio.....	26
Figura 6. Accesibilidad a zona de estudio - Fuente Google Earth 2020.....	27
Figura 7. Temperatura de Chamis durante el año.....	27
Figura 8. Clima del área de estudio - Fuente Weather Spark.....	28
Figura 9. Probabilidad de lluvia de la zona de estudio.....	29
Figura 10. Vegetación de la zona de la carretera hacia Chamis.....	29
Figura 11. Columna estratigráfica de Cajamarca, Cajabamba y San Marcos. Fuente: Orbasa Geología UNC (2013).....	31
Figura 12. Plano Geológico de la zona de estudio.....	32
Figura 13. Formación Farrat, presencia de limonitas arenosas.....	33
Figura 14. Formación Inca, presencia de areniscas y lutitas ferruginosas masivas.....	34
Figura 15. Formación Chúlec, presencia de limolita arcillosa y areniscas limosas.....	35
Figura 16. Formación Mujarrún, presencia de calizas nodulares con margas y lutitas pardo amarillentas.....	36
Figura 17. Formación Huambos, presencia de tobas andesíticas y regolito.....	37
Figura 18. Formación Huambos, presencia de tobas andesíticas.....	37
Figura 19. Fragmentación de la roca por acción de las raíces.....	38
Figura 20. Curvatura de los árboles debido a la reptación producida en el suelo.....	39
Figura 21. Cárcavas al costado de la carretera hacia Chamis.....	40
Figura 22. Movimiento de rocas cuesta abajo por la fuerza de la gravedad.....	41
Figura 23. Talud de roca de la Estación de Control Geomecánico N°01.....	42
Figura 24. Muestra de roca de la Estación de Control 3040 Geomecánico N°01.....	43
Figura 25. Talud de roca de la Estación de Control Geomecánico N°02.....	51
Figura 26. Talud de roca de la Estación de Control Geomecánico N°02.....	52
Figura 27. Talud de roca de la Estación de Control.....	60
Figura 28. Talud de Suelo analizado por criterio Mohr - Coulomb.....	68
Figura 29. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que se forma una falla planar como consecuencia de las características geomecánicas.....	70
Figura 30. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	70
Figura 31. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia una falla en cuña como consecuencia de las características geomecánicas de las juntas.....	71
Figura 32. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	71
Figura 33. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que no se produce una falla por vuelco como consecuencia de las características geomecánicas.....	72
Figura 34. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	72
Figura 35. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que no se produce una falla planar como consecuencia de las características geomecánicas.....	74
Figura 36. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	74
Figura 37. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que se forma una falla en cuña /como consecuencia de las características geomecánicas.....	75
Figura 38. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	75
Figura 39. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que no se produce una falla por vuelco como consecuencia de las características geomecánicas.....	76
Figura 40. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	76

Figura 41. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que se forma una falla planar como consecuencia de las características geomecánicas de la junta 1.	78
Figura 42. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	78
Figura 43. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que se forma una falla en cuña como consecuencia de las características geomecánicas.	79
Figura 44. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	79
Figura 45. Análisis estereográfico de las discontinuidades tomando como base al cono de fricción y la envolvente del talud, que tiene límites laterales de $\pm 20^\circ$. Aquí se presencia que no se produce una falla por vuelco como consecuencia de las características geomecánicas.....	80
Figura 46. Valores que tiene cada familia en el Estereograma.....	80
Figura 47. Sección 01 Análisis mediante Spencer. Se obtiene un FS de 1.348, lo cual nos dice que ante evento geológico es moderadamente estable.....	82
Figura 48. Sección 01 Análisis mediante Morgenstern – Price. Se obtiene un FS de 1.334 lo cual nos dice que ante evento geológico es moderadamente estable.	82
Figura 49. Sección 02 de análisis mediante Spencer. Se obtiene un FS de 1.243 lo cual nos dice que ante evento geológico es moderadamente estable.....	83
Figura 50. Sección 02 Análisis mediante Morgenstern-Price. Se obtiene un FS de 1.239, lo cual nos dice que ante evento geológico es inestable.....	83
Figura 51. Sección 03 Análisis mediante Spencer. Se obtiene un FS de 1.719 lo cual nos dice que ante evento geológico estable.....	84
Figura 52. Sección 03 Análisis mediante Morgenstern-Price. Se obtiene un FS de 1.721, lo cual nos dice que ante evento geológico es estable.	84
Figura 53. Sección 04 Análisis de Mohr - Coulomb mediante Spencer. Se obtiene un FS de 0.364 lo cual nos dice que ante evento geológico es muy inestable.....	85
Figura 54. Sección 04 Análisis de Mohr – Coulomb mediante Morgenstern-Price. Se obtiene un FS de 0.363, lo cual nos dice que ante evento geológico es muy inestable.....	85
Figura 55. Estabilización propuesta para talud de Estación N°1 mediante Software Geotable.....	86
Figura 56. Estabilización propuesta para talud de Estación N° 2 mediante Software Geotable.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Base de datos	18
Tabla 2. Cuadro resumen de bibliografías.....	19
Tabla 3. Ubicación Geográfica Coordenadas de la zona de estudio.....	25
Tabla 4. Ubicación Política de la zona de estudio, se encuentra en la ubicación política	25
Tabla 5. Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 01.	42
Tabla 6. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta” de la Estación Geomecánica N° 01. ...	44
Tabla 7. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD de la Estación Geomecánica N° 01.	46
Tabla 8. Sistema de discontinuidades en el macizo rocoso de la Estación Geomecánica N° 01.	46
Tabla 9. Rango de Valores para el Espaciamiento de Discontinuidades de la Estación Geomecánica N° 01.	47
Tabla 10. Rango de Valores en Relación a las Condiciones de las Discontinuidades de la Estación Geomecánica N° 01.....	48
Tabla 11. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos	49
Tabla 12. Ajuste de Valoración por Orientación de las Fisuras.....	50
Tabla 13. Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 02.	51
Tabla 14. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta” de la Estación Geomecánica N° 02. .	53
Tabla 15. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD de la Estación Geomecánica N° 02.	54
Tabla 16. Sistema de discontinuidades en el macizo rocoso de la Estación Geomecánica N° 02.	55
Tabla 17. Rango de Valores para el Espaciamiento de Discontinuidades de la Estación Geomecánica N° 02.	56
Tabla 18. Rango de Valores en Relación a las Condiciones de las Discontinuidades de la Estación Geomecánica N° 02.....	57
Tabla 19. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos de la Estación Geomecánica N° 02.	58
Tabla 20. Ajuste de Valoración por Orientación de las Fisuras.....	59
Tabla 21. Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 03.	60
Tabla 22. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta” de la Estación Geomecánica N° 03. .	61
Tabla 23. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD de la Estación Geomecánica N° 03.	62
Tabla 24. Sistema de discontinuidades en el macizo rocoso de la Estación Geomecánica N° 03.	63
Tabla 25. Rango de Valores para el Espaciamiento de Discontinuidades de la Estación Geomecánica N° 03.	63
Tabla 26. Rango de Valores en Relación a las Condiciones de las Discontinuidades	65
Tabla 27. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos de la Estación Geomecánica N° 03	66
Tabla 28. Ajuste de Valoración por Orientación de las Fisuras de la Estación Geomecánica N° 03.....	67
Tabla 29. Coordenadas UTM-WGS84 de la estación Geomecánica N°4.....	68
Tabla 30. Datos de campo de la Estación N° 01.....	69
Tabla 31. Datos de campo de la Estación N°02.....	73
Tabla 32. Datos de campo de la Estación N°03.....	77
Tabla 33. Cuadro resumen de ensayos de estaciones.	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. RQD a través de J_v.....</i>	<i>44</i>
<i>Ecuación 2. RQD a través de λ.....</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 3. Cohesión a través del RMR.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 4. Ángulo de Fricción</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 5. Fórmula para hallar λ.....</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 6. Fórmula para hallar λ.....</i>	<i>62</i>

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo de diseñar los controles de estabilidad de taludes entre las progresivas km4 + 100 – km6 + 500 de la carretera Cajamarca - Chamis Para ello, se identificará características litológicas, físicas, geotécnicas de los materiales que conforman los taludes y factores condicionantes. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis del Criterio de Mohr-Coulomb, será utilizado para los taludes de suelos y el Criterio Generalizado de Hoek Brown para los taludes de roca. Usando métodos de equilibrio límite en Spencer y Morgenstern obteniendo así un FS del talud de suelo. Con el software Geotable se realizará el análisis a través de los datos obtenidos en campo para el posible diseño de control geotécnico, como también el análisis con el Software Slide v6.0 (Método de Equilibrio Límite), utilizando los factores geológicos de cada talud; por último, se simulará con el software Dips v6.0, donde se analizará los tipos de fallas que se puedan producir en los taludes ya sean de tipo planar, en cuña o por vuelco. El tipo de investigación que emplearemos será no experimental, descriptiva. Los resultados muestran que los taludes de roca que vienen a ser las estaciones 1, 2 y 4 son inestables, y la estación numero 3 es estable, se ha podido verificar con los ensayos de carga puntual que las resistencias de las muestras son de tendencia regular. Por lo tanto, al realizar un ensayo de análisis granulométrico del talud de suelo, se comprueba que el suelo es de calificación areno arcillosa.

Palabras clave: Análisis de Estabilidad, Factor de Seguridad, Método de Equilibrio Limite, deslizamientos.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

- Montoya, F. (2014), *Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz blanca el Gavilán. Geología (Tesis profesional)*, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/118>
- Ochoa L. (2016). *Inestabilidad de taludes en el sector de santa bárbara de la ciudad de Huancavelica (Tesis Pregrado)* -Universidad Peruana de los Andes. Huancayo
- Penhafo, H. (2014). *Problemática socioambiental asociada a los métodos de arranque de la roca en las canteras de materiales de la construcción.* (Tesis de pregrado). Cuba
- Rico, A., & Castillo H. (1998). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. México: Limusa. Recuperado https://books.google.co.ve/books?id=d042vJAKVK8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Ramírez, P., Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Universidad Nacional de Rosario (2003). *Geología y Geotecnia – Estabilidad de Taludes*. Recuperado [http://oa.upm.es/14183/diferentes métodos de cálculo utilizados](http://oa.upm.es/14183/diferentes_métodos_de_cálculo_utilizados).
- Ricardo Valiente Sanz, S. S. (s.f.). *Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de diseño y métodos de cálculo. CIV información, 50-54*. Recuperado <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16157>
- Reyes, L. (1980) *Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 31*. Recuperado <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/150>
- Stabilization Methods,” chapter 7 in Slope Stability and Stabilization Methods (2nd ed.)*. New York. Recuperado <http://dot.state.mn.us/research/reports/2017/201717G.pdf>
- Saftner, D., Carranza - Torres, C., Nelson, M. (2017). *Slope Stabilization and Repair Solutions for Local Government Engineers*. Minnesota Department of Transportation. Recuperado <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/189537>
- Tardeo, C. (2016). *Análisis Dinámico de Estabilidad de Taludes por Elementos Finitos en la zona de Huayllapampa del dsitrito de cuenca-Huancavelica. (tesis profesional)*. Universidad Nacional de Huancavelica, Lircay. Recuperado <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1935>